

# МОДУЛЯЦИЯ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖК-МОНОМЕРА НЕПОЛЯРИЗОВАННЫМ УФ ОБЛУЧЕНИЕМ ПОЛИМЕРНОГО ОРИЕНТАНТА

В.В. Могильный, А.И. Станкевич, А.В. Трофимова  
Белорусский государственный университет, кафедра физической оптики  
пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Беларусь, [mogilny@bsu.by](mailto:mogilny@bsu.by)

Исследовано развитие ориентации мезогенного мономера поверхностью натертого слоя бензальдегидного полимера с ростом дозы УФ облучения последнего. Предложен и апробирован способ создания фазовых поляризационных структур на основе пространственной модуляции двулучепреломления отвержденного жидкокристаллического слоя.

## Введение

Жидкокристаллические (ЖК) мономеры используются для изготовления фазовых полимерных пленок и поляризационных периодических структур – существенных элементов оптических и оптоэлектронных устройств [1, 2]. При изготовлении поляризационных дифракционных решеток предварительно создаются многодоменные полимерные ориентирующие слои с дискретно изменяющимся направлением ориентации ЖК мономера от зоны к зоне. На границах таких зон возникают области дефектов ЖК с размерами в единицы микрометров [3]. Это ограничивает возможность уменьшения периода дифракционных структур ниже ~ 10 мкм.

Многодоменная ориентация ЖК обычно создается фотоориентирующими материалами после их облучения линейно-поляризованным светом с различным направлением плоскости поляризации для различных зон. Необходимость применения поляризованного света усложняет технологию фотоориентации. Для полимеров с боковыми бензальдегидными группами обнаружен эффект фотостимулированной ориентации после натирания слоя [4], который выражается в появлении и усилении ориентирующей способности натертого слоя по мере его неполяризованного УФ облучения. Эффект основывается на фотошивании материала, которое ведет также к потере им растворимости. Обнаруженный эффект фотостимулированной ориентации позволил предложить способы создания многодоменной ориентации ЖК с дискретно изменяемым направлением директора.

В настоящей работе рассматриваются особенности фотостимулированной ориентации ЖК мономера слоями бензальдегидных полимеров, позволяющие получать полимерные ЖК слои с пространственно-модулированным двулучепреломлением без изменения направления директора. При этом отсутствуют границы областей с изменением направления директора, а значит не должно быть и дефектных зон.

## Приготовление образцов и методики измерений

В экспериментах использовались полимеры с бензальдегидной группой в боковой цепи, подобные БП-2 [5]. Полимерные слои толщиной ~ 0.1 мкм были приготовлены методом центрифугирования раствора материала на стеклянной под-

ложке. Процедура обработки слоев включала механическое натирание тканью в заданном направлении и неполяризованное УФ-облучение (однородное или через фотомаску) полным потоком лампы ДРШ-250. На облученные поверхности образцов наносили слой ЖК мономера (RMM-491, Мерк), который затем фотополимеризовался для фиксирования наведенной ориентации. Оценку качества ориентации проводили, измеряя коэффициент пропускания  $T$  в зависимости от угла поворота образца в системе скрещенных линейных поляризаторов. По этим данным находили величину двулучепреломления  $\delta n$  отвержденного слоя ЖК-мономера по формуле:

$$\delta n = \frac{\lambda}{\pi l} \arcsin \sqrt{\Delta T}, \quad (1)$$

где  $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  – максимальное и минимальное значения коэффициента пропускания образца, периодически изменяющегося при его вращении,  $l$  – толщина слоя,  $\lambda$  – длина волны зондирующего лазерного излучения ( $\lambda = 650$  нм).

Качество ориентации ЖК молекул оценивалось с помощью параметра качества  $q$ , который рассчитывался согласно формуле:

$$q = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} \quad (2)$$

## Результаты и их обсуждение

Характерные зависимости двулучепреломления ( $\delta n$ ) фотоотвержденного ЖК мономера и параметра качества ориентации ( $q$ ) от времени экспонирования ориентирующего слоя приведены на рис. 1.

Неполяризованное облучение натертого слоя ориентанта вызывает сравнительно резкое увеличение параметра качества, нарастание двулучепреломления ЖК мономера происходит с меньшей скоростью (рис. 1). Наблюдаемый эффект «несинхронного» изменения  $q$  и  $\delta n$  связан с особенностями возникновения и усиления ориентирующей способности натертых слоев бензальдегидных полимеров [4]. Ориентационная упорядоченность сегментов основных цепей полимера, наведенная путем механического натирания его поверхности, увеличивается по мере УФ облучения слоя за счет анизотропного сжатия макромолекул образующимися в результате фотопревращений бензальдегидных групп поперечными сшивками. По-видимому, при нарастании азиму-

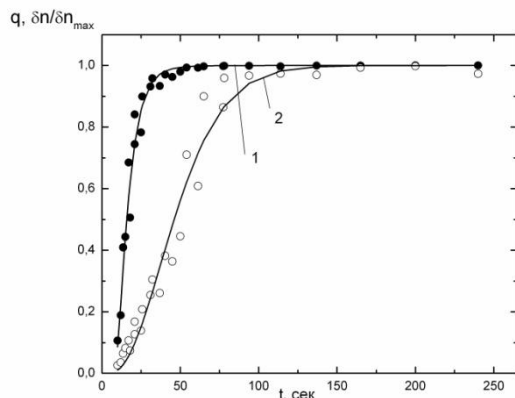


Рис. 1. Экспозиционные зависимости параметра качества (1) и двулучепреломления (2).

тальной энергии сцепления в ходе облучения может образовываться однородная пленка ЖК мономера с различной степенью упорядочивания (величиной параметра порядка). О начале образования однородной пленки свидетельствует достижение параметром качества значения 1. Однако, в некоторых случаях (рис. 1) при этом величина двулучепреломления еще далека от своего максимального значения. Затем двулучепреломление продолжает расти и достигает максимума при значительно больших экспозиционных дозах. Последнее можно связать с постепенным увеличением параметра порядка в пленке ЖК мономера.

Как видно из рис. 1, сохраняя высокое качество ориентации ( $q \approx 1$ ), можно достичь амплитуды модуляции двулучепреломления пленки ЖК мономера ( $\Delta(\delta n)$ ) до 60% от максимального значения  $\delta n$ .

Обнаруженное свойство полимерного ориентанта позволяет рассчитывать, например, на создание фазовых решеток в слое ЖК мономера при первоначальном однородном экспонировании ориентирующего слоя и последующем экспонировании его через фотомаску. На рис. 2 представлена общая схема экспериментальной реализации предложенного способа.

Для записи решеток в слое ЖК мономера использовали фотомаску с металлизированными решеточными структурами на кварцевой подложке. УФ облучение полимерного слоя проводили, меняя время экспонирования для каждой стадии (рис. 2). Анализ созданных фазовых периодических структур проводили, измеряя интенсивности максимумов в дифракционной картине и вычисляя дифракционную эффективность 1-го порядка дифракции по формуле:

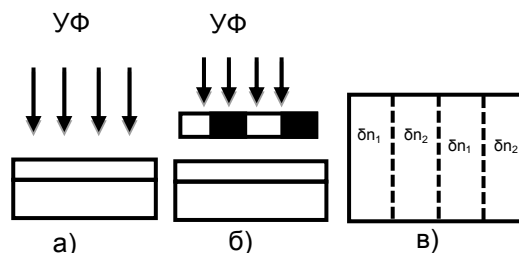


Рис. 2. Способ создания ориентирующих поверхностей: (а) однородное УФ облучение натертого слоя; (б) добавочное облучение через фотомаску; (в) ориентирующая поверхность, создающая модуляцию  $\delta n$  ЖК мономера.

$$\eta = \frac{I_1}{I_0 + 2I_1 + 2I_2 + \dots} \quad (3)$$

где  $I_i$  – интенсивность пучка дифракции  $i$ -го порядка.

Используя полученные значения  $\eta$  и выражение для дифракционной эффективности тонкой синусоидальной фазовой решетки [6]:

$$\eta = J_1^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(\delta n) l \right), \quad (4)$$

где  $J_1$  – функция Бесселя 1-го порядка, рассчитали достигнутую амплитуду модуляции  $\Delta(\delta n) \approx 0.1$ .

Полученное значение модуляции  $\delta n$  слоя ЖК мономера в созданной решетке оказывается немного меньшим, чем было предсказано результатами по однородной ориентации (рис. 1). Однако наблюдение с помощью поляризационного микроскопа слоя ЖК мономера не выявило признаков дисклинаций.

### Заключение

Обнаружено более быстрое нарастание параметра качества ориентации ЖК мономера по сравнению с его двулучепреломлением на натертом слое бензальдегидного полимера с ростом УФ облученности последнего. Предложен способ пространственной модуляции двулучепреломления отвержденного ЖК слоя для создания фазовых поляризационных структур.

### Список литературы

1. Davis J. A., Evans G. H. // Opt. Lett. 2004. V. 29. P.1443–1445.
2. Chulwoo O., Escuti M. J. // Opt. Lett. 2008. V. 33. P. 2287–2289.
3. Katsuyuki T., Taketo O. et al. // IDW '13. 2013. P. 522–524.
4. Могильный В.В., Станкевич А.И., Трофимова А.В. // Вестник БГУ. Сер.1. 2014. № 2. С.17–22.
5. Могильный В.В., Трофимова А.В., Станкевич А.И. // Взаимод. излучений с твердым телом: Материалы VIII Международной конференции. Мн., 2009. Ч.I. С.340.
6. Могильный В.В. Полимерные фоторегистрирующие материалы и их применение. М.: БГУ. 2003.

### OPTICAL RADIATION INFLUENCE ON THE PHOTOINDUCED BIREFRINGENCE IN THE LAYERS OF BENZALDEHYDE POLYMERS

Uladzimir Mahilny, Aliaksandr Stankevich, Alexandra Trofimova

Belarusian State University, Nesavisimosti av., 4, Minsk, 220030, Belarus, mogilny@bsu.by

The alignment of LC monomer by the surface of rubbed benzaldehyde polymers under its UV irradiation has been investigated. The method of phase polarization structures on the basis of spatial modulation of cured LC layer has been proposed.